出力管に送信管を使用し，交差型位相反転回路を採用してパワードライブを目指した

3C33プッシュプルパワーアンプ

征矢　進　SOYA Susumu

業務用高信頼の送信管である新品のRCA 3C33を，あるマニアの方よりいただき，手持ちのパーツでコンパクトに完成させたパラプッシュプルアンプ．代替品なども説明しているので追試も可能．採用の交差型位相反転回路では，カソード負帰還巻線を利用して，オーバーオールの負帰還を平衡型で掛ければ良好な特性が得られる．試聴したところ，スペック以上の音の厚みや伸びを感じられる大変満足できる音質となった．出力は25Wもあり，低能率スピーカーでも十分鳴らせる．

はじめに

私と同郷の長野県茅野市にお住まいで，私の製作記事に大いに興味があり，毎月MJ誌の発行日を楽しみにしているK氏という真空管アンプ自作マニアの方と日ごろから懇意にさせていただいています．その方がぜひ3C33の音を聞かせて欲しいと，新品のRCA 3C33を8本提供してください．

アンプの自作に関してはベテランなので，本来ですとご自分で製作していただければよいのですが，なにぶんにもご高齢でまた体調が良くないとのことで，私が代わりに製作することになりました．

完成後，K氏宅と私のシステムで試聴したところ，大変満足できる音質でしたので，本誌読者の参考になればと思い，今回ご紹介することにしました．

もっとも，ありあわせのパーツを多用しましたので，追試される場合には同じ物が入手できない恐れもありますが，代替品やその使い方などを詳しく説明しますので，3C33をお持ちの方や，本機に興味を持たれた方は追試できると思います．ぜひ製作していただき，味わい深い厚みのある音質を楽しんください．

出力管

今回使用した出力管はRCA製の3C33です．浅野勇氏の著書，『続魅惑の真空管アンプ』の中でプッシュプルアンプを発表されていますので，そちらも併せてご覧いただければ，3C33についてさらにご理解いただけるでしょう．

RCAの送信管マニュアルには制御増幅器用としてのデータがありますから，送信管本来の目的である電波を出すためだけではなく，機器を制御するためのサーボアンプなどに使用するのが，3C33の使い方ではないかと思います．

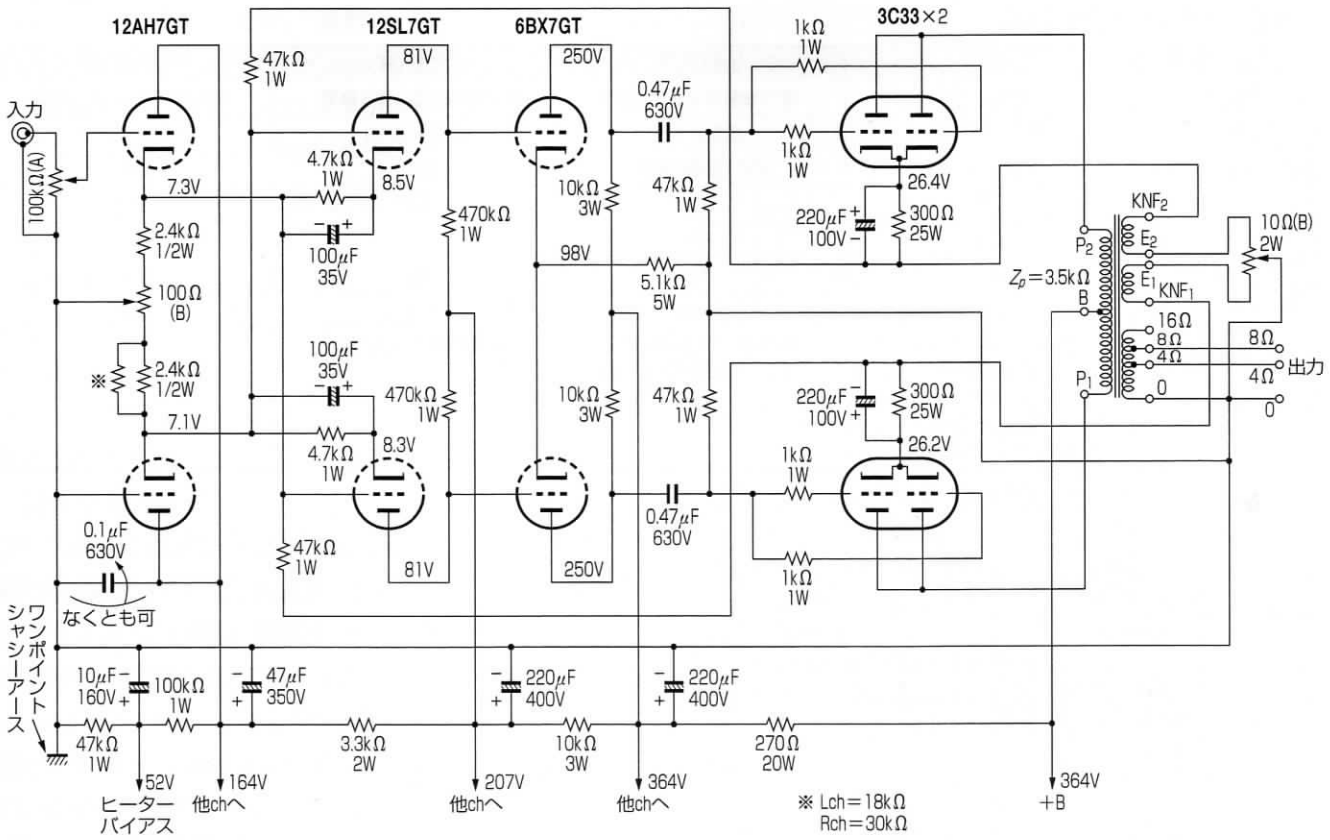
なお，マニュアルの中に掲載されていて特に注目すべき点は，グリッド電流の許容値が7.5mAとなっていることと，CCS規格で表示されていて，送信管の特徴を有していることです．

いずれにしても現物を手にとってよく見てみると，いかにも業務用高信頼管らしい素晴らしい出来栄えで，どうしても音を出してみたくなる，そんな逸品です．

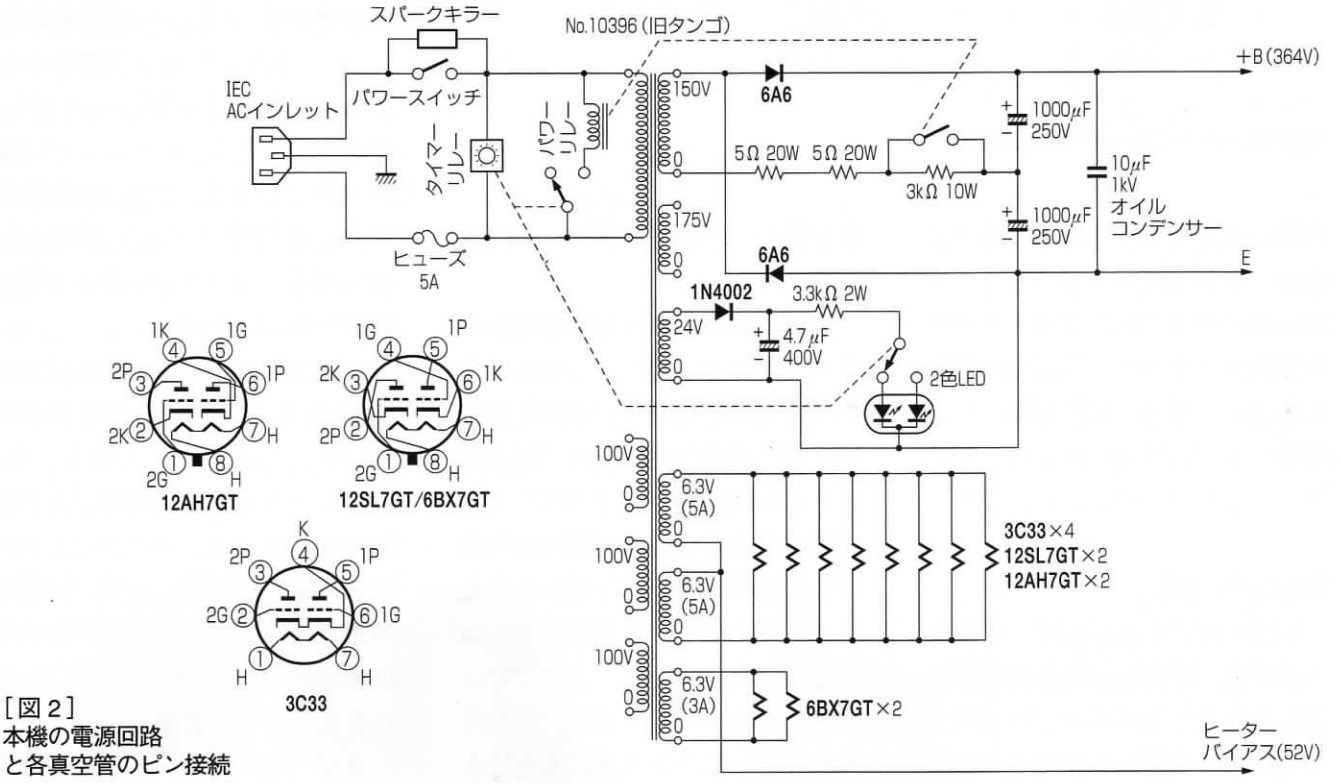
見た目での大きさは送信用双ビーム管の829Bと同じですが，プレートはトップではなく，脚ピンに引き出されているので，プレートキャップは不要で実装が楽になり，また安全性も向上します．

プレートは円形型をしたセラミック製のスペーサーを介してマイカ板に固定されており，耐振構造になっているのは使用目的が工業用だからでしょう．

使用上の注意点としては，大きなプレート損失とヒーター電力に対してバルブは小型になっているので，温度上昇が大きいと思われることです．したがって，放熱に関してしっかりとした対策を講じる必要があり，これを怠ると長寿命は望めないことになります．



[図1] 本機の増幅部の回路



[図2]
本機の電源回路
と各真空管のピン接続

回路設計

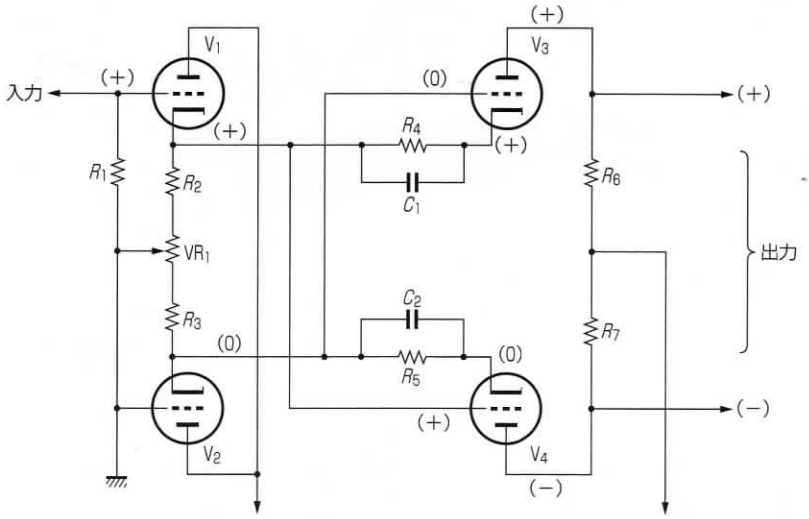
本機のアンプ部は図1に，また電源部は図2に，使用した真空管の定格は表1に示します．

まず図1をご覧ください．これはアンプ部の回路です．

3C33はグリッド電流が7.5mAも流せるので，当初は全段直結A_2級回路を採用し，グリッドの正領域までドライブして出力の増大を図ろうと考えましたが，単一電源仕様では出力管のバイアス抵抗を大きくし，カソード電圧を嵩上げする必要があるので，そこで

［表1］使用した真空管の定格

型番		3C33	6BX7GT	12SL7GT	12AH7GT
種別		双3極送信管	電力増幅用中μ双3極管	電力増幅用高μ双3極管	電力増幅用中μ双3極管
E_f〔V〕×I_f〔A〕		12.6×1.125	6.3×1.5	12.6×0.15	12.6×0.45
最大定格	E_p〔V〕	±2000（ピーク）	500（垂直増幅）	300	250
	P_p〔W〕	15	10	1.0	2.0
	I_k〔mA〕	120	60		
	μ	11	10	70	16
	E_{hk}〔V〕	±100	±200	±90	200
備考		各ユニットごとのCCS規格 I_g＝7.5mA R_g＜500kΩ （E_gが常に負の場合）	両ユニット同時ではプレート損失＝12W	6SL7GTの12V管	



［図3］交差型位相反転の基本回路

消費される電力が大きくなることから，発熱対策が大変であることと，ステレオで製作すると大がかりになりますので，今回は出力管とドライブ管とはCR結合にして軽いAB_1級の動作とし，コンパクトにまとめることにしました．

位相反転回路

12AH7GTと12SL7GTを組み合わせた交差型位相反転回路を採用しました．浅野氏は，ウィリアムソン型の位相反転回路を採用して，3C33のバイアス電圧に対して十分な余裕を持たせた設計によりドライブしていましたが，余裕を持たせたドライブを行うと，浸透力の強い音質になるように思われるので，私も十分なドライブ電圧を得ることができるように配慮しました．

本機を製作しようとする方はかなりのベテランでしょうから，あえて説明の必要はないかもしれませんが，おさらいも兼ねて交差型位相反転回路について説明します．

図3は交差型位相反転回路の基本回路です．V_1とV_2は単なるカソードフォロワーですが，交差型位相反転においては，この部分は重要な働きをしています．その特徴として，以下の4点に集約できるでしょう．

(1) V_3とV_4のバイアス電圧を揃えることができ，また出力インピーダンスは低くなる．

(2) V_1には信号を入力するが，V_2のグリッドはアース電位に保ち，信号は入れない．

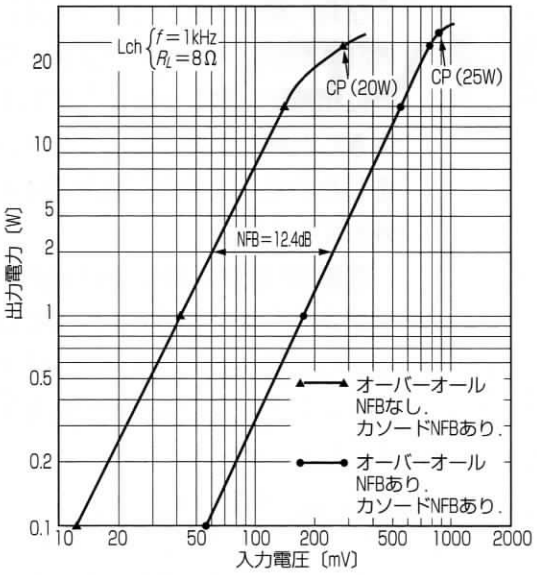
(3) VR_1によりV_3とV_4のプレート電圧を揃えることができ，ACバランスも調整しやすくなる．

(4) V_1の入力インピーダンスが高くなることで，プリアンプとの信号の受け渡しがスムーズに行え，高域特性が良好になる．

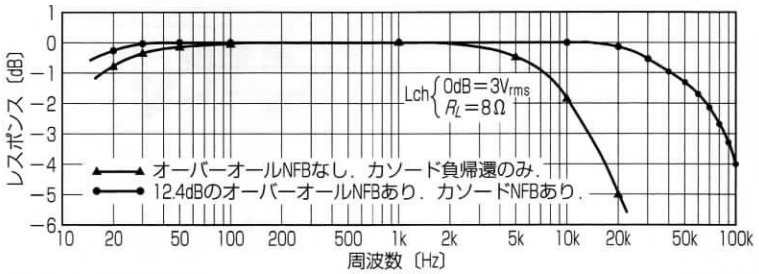
その動作を詳しく説明すると，V_1に入力された信号はカソードから出力されますが，ここはV_3のカソードとV_4のグリッドに接続されています．またV_2のカソードには信号は発生しませんが，V_3のグリッドとV_4のカソードが接続されています．

したがって，入力された信号は，V_3のカソードとV_4のグリッドのみに入力されることになり，V_3はグリッド接地増幅回路なので位相は同相となり，またV_4はカソード接地増幅回路なので，位相は逆相となって信号を増幅するので，位相反転と電圧増幅が同時に行われることになります．

カソードフォロワー段には12AH7GTを使用しました．ここは12SN7GTでもよいのですが，電源トランスのヒーター巻線の容量に制限があり，少しでもヒーター電力の少ないものを選択しました．なお，この段のプレート電圧は



［図7］入出力特性



［図8］周波数特性

電圧が同じになるようにセットしてください．そこまでできたら，各部の電圧が図1，2に示した値と大きく異ならないことを確認して，いったん電源スイッチを切ります．

6) 次はACバランス調整です．12AH7GTの下側のグリッドはアースされていますが，ここをいったん外し，上側のグリッドと結びます．そして電源を入れて信号を入力し，出てくる音が最も小さくなるようにすればACバランスは取れていることになります．これは両チャンネル行い，調整後は元の配線に戻しておきます．当然ですが歪率計のある方は，単に最小歪率になるようにすれば結構です．このとき6BX7GTのプレート電圧があまり異ならない（できれば10V以内）ことを確認してください．

以上が調整のすべてです．3C33は熱的に落ち着くまでに時間がかかるので，30分くらいアイドリングしてからもう一度各部の電圧を確認し，本機の電圧に対して±5%程度以内になっていることを確認できれば完成となります．

特性測定

図7は入力対出力特性です．オーバーオールの負帰還がないときはリニアリティがよくありません．出力が10Wを超えるあたりからカーブが寝てきますし20Wが最大出力となりました．これに12.4dBのオーバーオールの負帰還を掛けると，最大出力は増加して25Wが0.88Vの入力電圧で得られます．

図8は周波数特性です．オーバーオールの負帰還がないときは，12SL7GTの負荷抵抗が高いことと，6BX7GTの入力容量により，高域でのレスポンスの低下が早く起こります．ただこの特性はオーバーオールの負帰還を予定していたので，ある程度意図して定数を決めました．

積分型の位相補正回路を使用して，高域の位相補正を行ったときと同じ動作をさせることによって容量負荷に対して強くなり，安定度が増すので，この特性でよいと思います．この特性時に12.4dBのオーバーオールの負帰還を掛けたところ，－3dB点は85kHzまで伸長しました．低域ではあまり改善は見られませんでしたが，それでも－0.2dBで可聴帯域をカバーしているので，これで十分な特性ではないかと考えます．

図9はダンピングファクター特性です．カソード負帰還のみのときDFは4.8程度，それに加えてオーバーオール負帰還を掛けた最終特性のDFは5.6程度となりました．これだけの係数があれば，ダンピングが効いた音でスピーカーを鳴らすことができるでしょう．

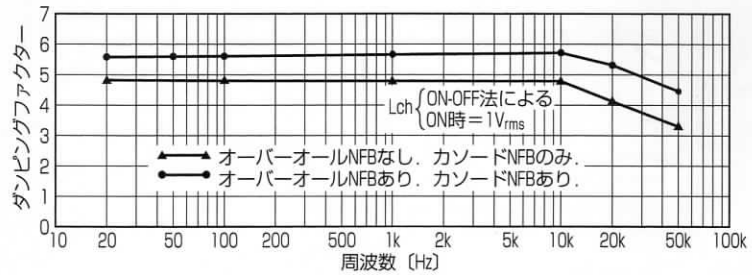
図10は出力対歪率特性です．オーバーオールの負帰還は特に0.1W以下で効果があります．これは残留ノイズが負帰還により低下するからです．ただし，0.1W以上の出力ではオーバーオールの負帰還の効果は少ないようです．歪率計でしっかりとACバランスを調整すれば歪率は改善できますが，示したデータは初段のグリッド同士を結び，信号を入力してミリバルの針の振れが最小になるように調整したときの値です．

いずれにしても，10Wまでは1%以下の歪率になっているのでこれでよいと思います．

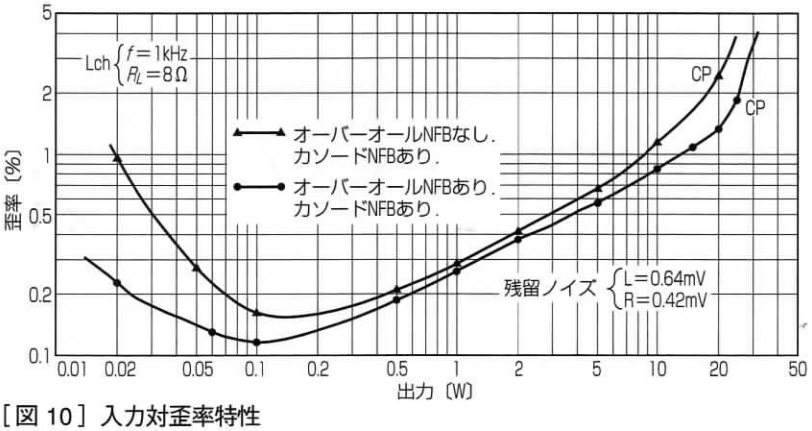
波形観測

写真10～12は各周波数における方形波の再現波形です．いずれの波形も素直な形をしているので，可聴帯域外のレスポンスはなだらかに低下していき，ピークやディップがないことを表しています．

写真13は負荷をオープンにしたときの再現波形です．写真14



［図 9］ダンピングファクター



［図 10］入力対歪率特性

は8Ωの負荷抵抗に0.47μFの容量を並列接続したときの再現波形です．写真15は純容量負荷として0.47μFのみとしたときの再現波形です．いずれの場合も，発振の恐れのある再現波形ではありませんので，本機は適切に設計ができていると考えます．

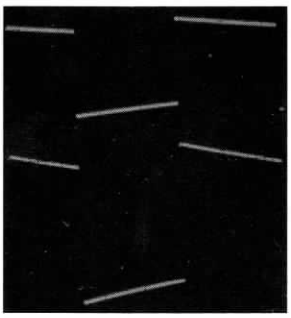
なお，純容量負荷での再現波形の乱れが少し大きいので，積分型の位相補正を施したところ，生き生きした感じが薄くなってしまいましたので，位相補正回路は取り外してしまいました．

写真16は28W時におけるクリップカットオフ波形です．山と谷が同時に削れていく典型的なプッシュプルアンプの出力波形となりました．

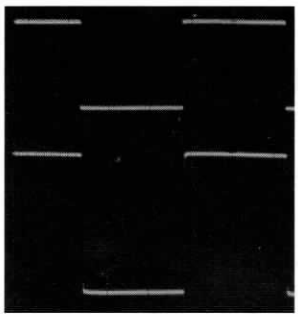
試　聴

音が太くてよく前に出てくる，また分解能もよいというのが第一印象です．これは，3C33の持つ音質的な特徴だと思いますし，また回路設計が適切であったからではないかと考えます．

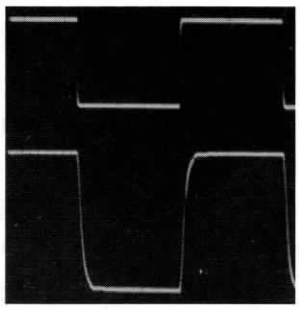
出力は25Wあるので低能率のスピーカーでも十分鳴らすことができます．興味のある方はぜひ追試して，この音質を楽しんでいただきたいと思います．



［写真 10］方形波再現波形
（f＝100Hz/2V，R_L＝8Ω）

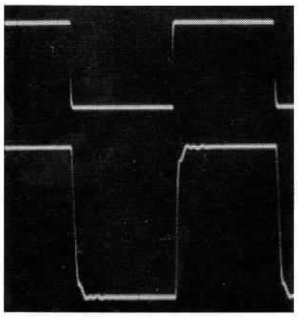


［写真 11］方形波再現波形
（f＝1kHz/2V，R_L＝8Ω）

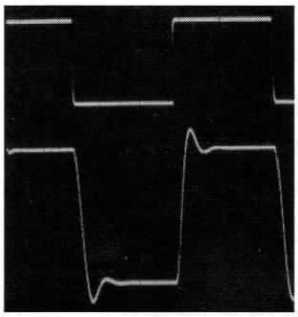


［写真 12］方形波再現波形
（f＝10kHz/2V，R_L＝8Ω）

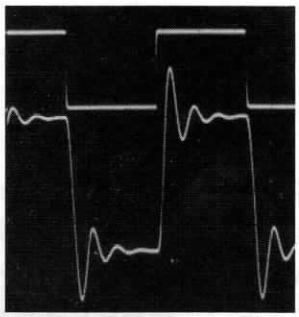
［写真 10 ～16の波形はすべて，Lch，上：入力，下：出力］



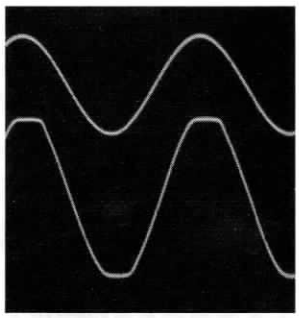
［写真 13］10kHz方形波再現波形（負荷オープン）



［写真 14］10kHz方形波再現波形（R_L＝8Ω//0.47μF）



［写真 15］10kHz方形波再現波形（R_L＝0.47μF）



［写真 16］正弦波1kHz/約28W時の波形（R_L＝8Ω）